

OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ SLÉVÁRENSKÝCH FOREM OVLIVŇUJÍCÍCH PENETRACI PŘI VÝROBĚ MASIVNÍCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

STUDY OF METAL PENETRATION OF STEEL CASTINGS IN CHEMICALLY BONDED SAND MOULDS

V. BEDNÁŘOVÁ¹, P. GRMOLENSKÁ², J. HRUŠKOVÁ³

ABSTRACT: Experimental evaluation of the sand mould behavior affecting the penetration of liquid steel. Influence of different parameters on the defect. The type of core sand (silica, chromite, andalusite – Kerphalite KF, zirkone), the type of coating (4 alcohol-based coatings with different refractories), compactness of the cores checked by weighing, the casting temperature.

KEY WORDS: metal penetration, massive steel castings, chemically bonded mould, no bake

ABSTRAKT: Hodnocení parametrů formy ovlivňujících sklon k penetraci při odlévání masivních odlitků z lité oceli do samotvrdnoucí furanové směsi. Experimentální ověření vlivu různých typů ostřiv (křemenný písek, chromit, zirkon, Kerphalite KF), různého stupně zhuštění jader (stanoveno vážením) a typu nátěrů na vznik a rozsah vad tohoto typu.

KLÍČOVÁ SLOVA: Penetrace, litá ocel, samotvrdnoucí furanová směs, stupeň zhuštění, nátěr

1 ÚVOD

Penetrace kovu je podle ASTM definována jako povrchová vada odlitků, u které kov nebo oxidy kovu zaplní prostory mezi zrna slévárenské formy, aniž by byla zrna přemístěna z rozhraní forma – kov. [1]

Pronikne-li kov pouze do hloubky pórů formy na vzdálenost asi poloviny průměrné velikosti zrn ostřiva a tudíž směs lze běžnými čistírenskými operacemi odstranit (tryskání), projeví se penetrace pouze růstem *drsnosti odlitku*. Vniknutím do hloubky větší než průměr zrn, lze penetraci obtížně odstranit, vzniká „*přípečenina*“, často na velké části povrchu odlitku. *Zapečenina* je charakterizována penetrací kovu již do hloubky několika zrn ostřiva.

U vysoce tepelně exponovaných jader (masivních odlitků) se setkáváme se vznikem „*hlubokých zapečenin*“. Kov proniká do hloubky několika centimetrů, často do celého objemu jádra. Tato vada je u křemenného ostřiva vyvolána také vznikem výronků - praskliny jádra v důsledku napětí z brzděné tepelné dilatace - nízkoteplotní vratná transformace křemenného ostřiva $\beta \leftrightarrow \alpha$ SiO₂ (500-600 °C), popř. nevratná vysokoteplotní transformace $\alpha \rightarrow \beta$ cristobalit (nad 1000 °C). Jádro pak neuchrání ani povrchová ochrana (nátěrem, námazek). Schématické znázornění jednotlivých typů vad je uvedeno na Obr.1.

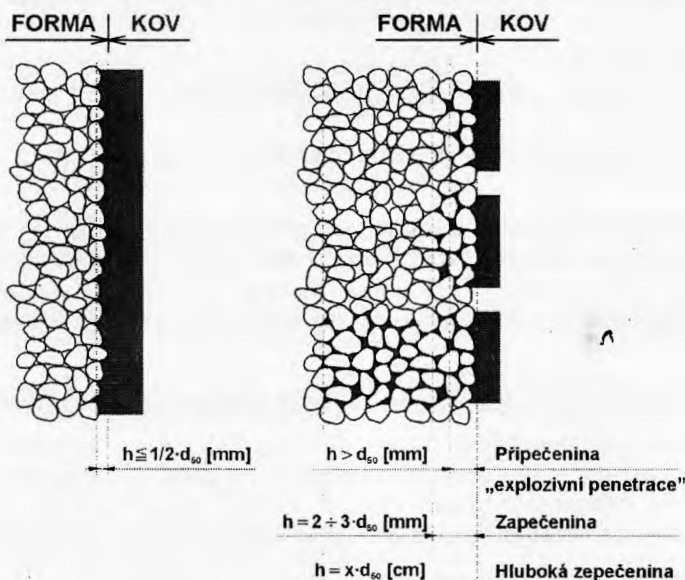
Příčiny vzniku zapečenin můžeme spatřovat v pochodech tepelných, fyzikálně-chemických a mechanických, ale nemůžeme hovořit o zapečeninách tepelných, chemických a mechanických, protože tak jednoznačně pochody na rozhraní forma – kov neprobíhají. Aby kov mechanicky

¹ Ing. Vlasta Bednářová, CSc. – Katedra slévárenství, FMMI, VŠB-TU Ostrava

² Ing. Pavla Grmolenská – Promat s.r.o., Divize HTI, Ostrava

³ Ing. Jarmila Hrušková – Vítkovické slévárny, s.r.o

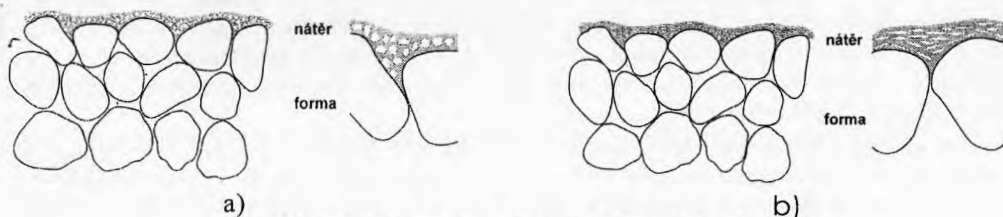
pronikl mezi zrna, musí být splněna základní teplotní podmínka. Pokud nenastane penetrace kovu do formy, nemohou nastat ani podmínky pro průběh chemických reakcí, které pak podmiňují vlastní následnou penetraci. Penetrace kovu tedy probíhá nejméně třemi způsoby: penetrace přes tekutou fázi pod metalostatickým, metalodynamickým tlakem nebo působením kapilárních sil, penetrace za spoluúčasti chemických reakcí a penetrace za spoluúčasti par kovů, přičemž se tyto mechanismy mohou vzájemně prolínat[2].



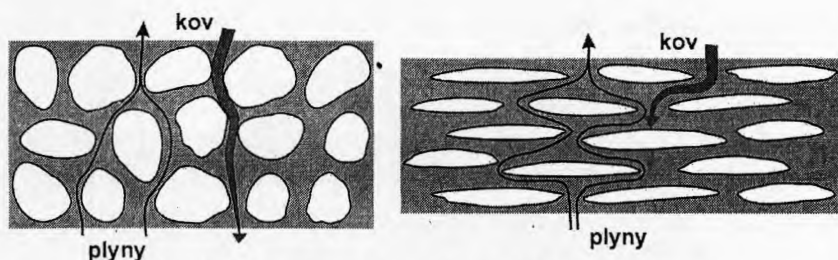
Obr.1 –Vady povrchu způsobené penetrací kovu

Vady povrchu jsou podle podílu na celkové zmetkovitosti až na čtvrtém místě. Vady této třídy jsou ve většině případů vady odstranitelné, ale operace s tím spojené jsou velmi pracné a nákladné a představují až 20% z celkových výrobních nákladů na odlitek [3].

Vyrobít zdravý odlitek znamená nejen prostý vnitřních vad, ale i s vysokou jakostí povrchu. Čistota povrchu bez zapečenin je určující otázkou produktivity a hygieny práce v čistírnách a hrubovnách. V současné době se již řada odlitků, případně některé jejich plochy, objednávají ve slévárnách podle etalonů drsnosti. Za tímto účelem je pracovní povrch jader a forem opatřován nátěry, které tvoří mezivrstvu mezi vlastním odlitkem (tekutým kovem) a formovacím materiálem, brání penetraci kovu a zlepšují hladkost odlitků. V současnosti dospěl vývoj plniv nátěrů do stádia, kdy se pro zajištění lepší prodyšnosti používají plniva tvaru plochých destiček. Tyto svým tvarem a uspořádáním dle **Obr.2, Obr.3** zajišťují odolnost proti penetraci kovu do formy či jádra s dostatečnou prodyšností.



Obr.2 -Tvar plniva a)zrnitý b)destičkový



Obr.3 - Vliv tvaru plniva na průchod plynů a kovu

2 PODMÍNKY EXPERIMENTU

Na vznik zapečenin obecně působí celá řada faktorů, mezi něž patří teplota odlévaného kovu, stupeň dezoxidace kovu, metalostatický a metalodynamický účinek kovu, druh ostřiva a pojivové soustavy, velikost a tvar zrn ostřiva, stupeň zhuštění formy, chemická povaha kovu a formy, povrchové napětí kovu, jeho viskozita a úhel smáčení formy kovem, plynový režim formy a další.

Cílem experimentů bylo ověřit vliv zhuštění formy, její povrchové ochrany a teploty liti kovu na výslednou jakost povrchu odlitků ve Vítkovických slévárnách, s.r.o. u samotvrdnoucích furanových směsí při použití různých typů ostřiv – křemenný písek, zirkon, chromit a andalusit (obchodní název Kerphalite KF). Ostřiva se tedy odlišovala jak granulometrií, tak hustotou a tepelnou vodivostí s ovlivněním tepelné akumulace formy (jádra).

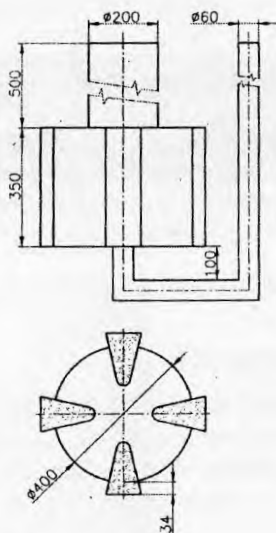
Ověřovány byly čtyři typy žárovzdorných nátěrů na bázi zirkonu a zirkonsilikátu od různých výrobců. Vhodnost nátěru určují jeho vlastnosti a to žárovzdornost a žárovečnost, odolnost proti penetraci, prodyšnost, sedimentace plniva v nosné kapalině, viskozita (tekutost), hygienické aspekty a další.

Penetrace byla experimentálně ověřována na zkušebním odlitku válce se čtyřmi klínovými jádry, přechovanými v jadernících na stejnou objemovou hmotnost (metodika katedry slévárenství VŠB-Technické univerzity Ostrava). Nálitek je ošetřen exotermickým obkladem a zásypem. Po odlití při definované teplotě je odlitek rozřezán v polovině výšky válcovité části a plocha řezu vyhodnocena (plocha penetrace k celkové ploše jádra). Na Obr.4 je znázorněn odlitek, na kterém probíhaly provozní zkoušky a Obr.5 představuje menší odlitek pro laboratorní zkoušky, které jsou prováděny na katedře.

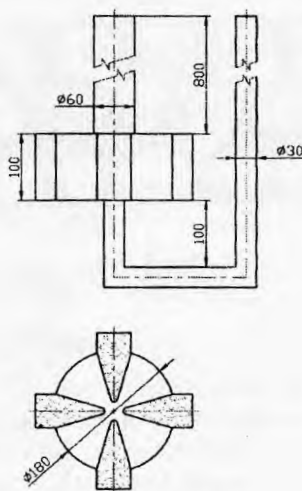
Zkušební odlitky byly odlévány z uhlíkové oceli dle ČSN 42 26 33. Jedná se o feriticko-perlitickou ocel na odlitky určenou k použití za vyšších teplot. Ocel je vhodná na odlitky méně namáhaných strojních součástí pracujících v různém prostředí za teplot do 400 °C.

Tab.1 - Chemické složení oceli ČSN 42 26 33 stanovené normou

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	P + S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Cr + Ni + Cu (%)
0,10 až 0,18	0,50 až 0,90	0,20 až 0,50	max. 0,040	max. 0,040	max. 0,070	max. 0,30	max. 0,40	max. 0,30	max. 0,90



Obr.4 – Zkušební odlitek
Surová hmotnost 1200kg



Obr.5 – Zkušební odlitek
Surová hmotnost 40kg

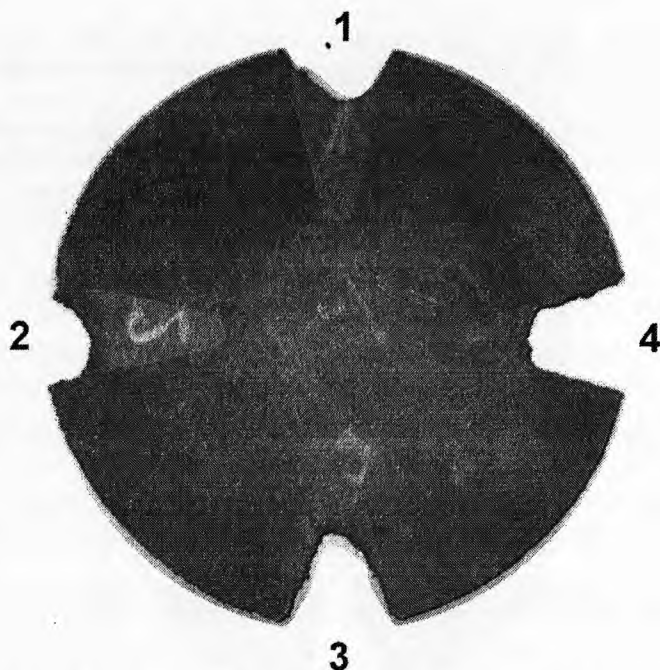
3 DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Vliv stupně zhuštění a nátěru

S klesajícím stupněm upěchování formy se zvětšuje velikost pórů a tekutý kov tak do nich může snáze pronikat. Toto bylo prokázáno i na masivním zkušebním odlitku, kde byla založena jádra ze směsi s křemenným ostřivem - 2 volně sypaná jádra a 2 upěchovaná, přičemž jedno jádro z dvojice bylo opatřeno ochranným nátěrem a druhé bylo bez povrchové ochrany. Rozdíl mezi plochami penetrace u jader nenatřených a s různým stupněm upěchování představuje 21,3 %. Mezi plochami penetrace natřených jader je rozdíl 42,4 %. Největší plocha penetrace byla až 63,5 % a to z celkové plochy jádra s nízkým stupněm zhuštění. Vliv stupně upěchování je tedy jednoznačně prokazatelný - zmenšení velikosti pórů přináší snížení stupně penetrace i u hrubozrnného ostřiva s nejnižší tepelnou stálostí a tepelnou akumulací.

Tab.2 - Vliv stupně zhuštění na hloubku penetrace

Teplota lití [°C]	Stupeň upěchování	Úprava povrchu jádra	Plocha penetrace [%]
1618	volně sypané	bez nátěru	63,5
	volně sypané	s nátěrem	62,7
	upěchované	bez nátěru	42,2
	upěchované	s nátěrem	20,3



Obr.6 - Vliv stupně upěchování jader na hloubku penetrace u křemenného ostřiva (teplota lití 1618°C)

U jader č. 1 a 2, která byla volně sypaná, je plocha penetrace o cca 20 až 40 % větší než u jader č. 3 a 4, tzn. u jader upěchovaných (**Obr.6**).

U jader upěchovaných je pozorovatelný výrazný rozdíl mezi jádrem opatřeným nátěrem (č. 4) a jádrem, bez nátěru (č. 3). Rozdíl mezi plochami penetrace u těchto jader představuje 1213,2 mm², tj. 21,9 %. U volně sypaných jader natřených žáruvzdorným nátěrem a nenatřených je rozdíl minimální a jeho hodnota je 47,5 mm² neboli 0,9 %.

Vliv nátěru se ovšem podstatně projevil u upěchovaných jader, kde bylo v závislosti na teplotě odlévání dosaženo zmenšení penetrované plochy o 50 -70%.

Vliv typu ostřiva

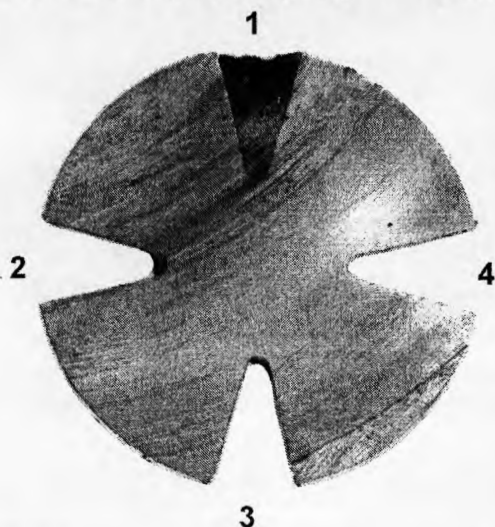
Přípečeniny, jejich vznik a velikost, jsou zásadním způsobem ovlivněny i parametry použitého ostřiva jako je jeho druh, granulometrická skladba, tvar zrn a tepelná akumulace formy. U jemnozrnnějších ostřiv a ostřiv složených z více frakcí lze dosáhnout vyššího stupně zhuštění formy a rozměrově menších pórů. Příznivě se dále projevuje vliv vyššího ochlazovacího účinku formy (jádra). Použití ostřiv zajišťujících vyšší koeficient tepelné akumulace umožňuje lepší odvod tepla od odlitku a zkracuje se doba tuhnutí. Zkrácením doby styku tekutého kovu s formou snížíme riziko vzniku zapečenin.

Měření sklonu různých formovacích směsí k zapékání na masivních zkušebních odlitcích prokázalo vysokou odolnost proti penetraci u směsí s nekřemennými ostřivy.

Tab.3 - Vliv typu ostřiva a teploty odlévání na hloubku penetrace

Typ ostřiva	Plocha penetrace [%]		
	1589°C	1601°C	1638°C
křemenný písek	75	87	96
chromit	9	4	8
Kerphalite	0	0	2
zirkon	0	0	0

Směs se zirkonovým pískem vykazovala vysokou odolnost proti penetraci a to i při nejvyšší teplotě lití 1638 °C (0 % plochy penetrace). Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo i při použití andalusitového ostřiva Kerphalite KF (1,3 % plochy penetrace při nejvyšší lici teplotě) a chromitu (2,6 %). Plochy penetrace v jádrech s křemenným ostřivem byly podle předpokladu u všech licích teplot největší ze všech zkoušených ostřiv a dosahovaly hodnot 96,0 % při nejvyšší teplotě lití 1638 °C a 48,3 % při nejnižší teplotě lití, tzn. 1589 °C.



Obr.7 - Rez zkušebním odlitkem s jádery z křemenného písku (1), chromitu (2), Kerphalitu (3) a zirkonu (4), teplota lití 1638 °C

Metalografický rozbor zapečení

Metalografický rozbor zapečení s křemenným pískem ukazuje feriticko-perlitickou strukturu oceli v zapenetrované oblasti. Se zvětšující se vzdáleností od líce zapečení se struktura kovu stává jemnozrnnější. Příčinou je pravděpodobně skutečnost, že v lici zapečení je z důvodu horšího odvodu tepla a vyššího prohřátí jádra doba tuhnutí delší nežli ve větší hloubce jádra.

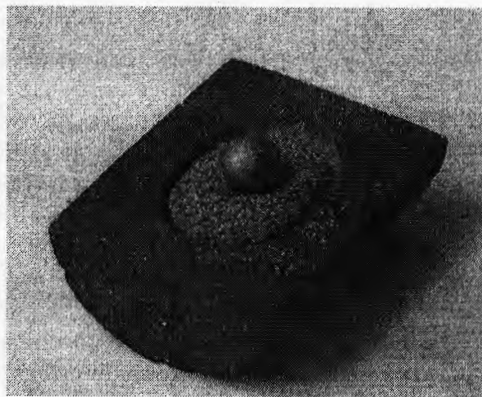
Při metalografickém sledování zapečených jader s chromitovým ostřivem byla zjištěna u vrstvy nátěru vrstvička s pouze feritickou strukturou. V samotné zapečenině je sice struktura kovu feriticko-perlitická, ale obsah perlitu je nižší (cca 30 %) než v základní kovové hmotě (perlit 50 %, ferit 50 %).

Měření úhlu smáčení

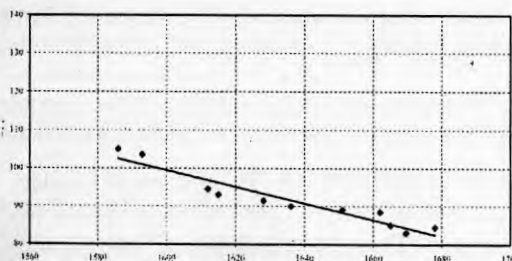
Pro měření úhlu smáčení byla použita metoda ležící kapky zkoumaného kovu (uhlíková ocel) na podložce z příslušného ostřiva nebo nátěru umístěné v grafitové lodičce (Obr.8). Měření probíhalo v redukční atmosféře.

Úhly smáčení čtyř zkoušených ostřiv se liší dosti zásadně. Nesmáčivé je ostřivo zirkonové s průměrnou hodnotou $\alpha = 125^\circ$, Kerphalite KF se 115° (s velmi mírným nárůstem s teplotou) a křemenný písek se 105° . Hodnota úhlu smáčení chromitového písku klesá v rozmezí teplot 1586 až 1678 °C ze 105° na 83° , to znamená, že se chromit s rostoucí teplotou stává pro kov smáčivým.

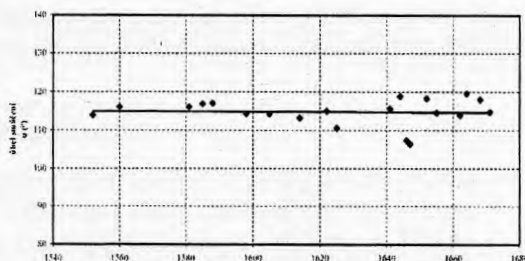
Měření potvrdilo předpoklad, že se smáčivost jednotlivých nátěrů od sebe příliš neliší. Průměrné hodnoty úhlu smáčení nátěrů se pohybují v rozmezí 100° až 110° , což znamená, že jsou kovem smáčivé.



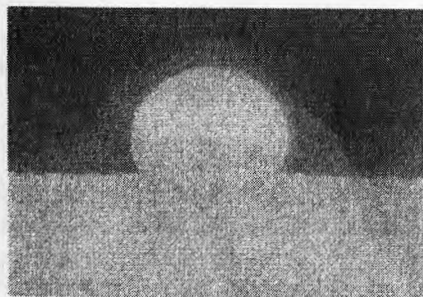
Obr.8 - Ostřivo v grafitové lodičce a kapka oceli po zchlazení



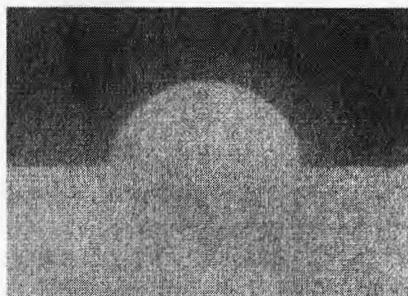
Obr.9 - Změna úhlu smáčení s teplotou chromitového ostřiva



Obr.10 - Změna úhlu smáčení s teplotou ostřiva Kerphalite KF



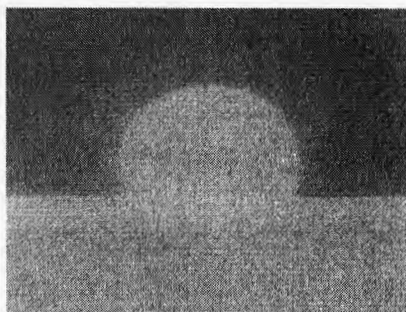
Obr.11 - Kapka oceli na zirkonovém písku ($\alpha = 125^\circ$)



Obr.12 - Kapka oceli na chromitu ($\alpha = 92^\circ$)



Obr.13 - Kapka oceli na křemenném písku ($\alpha = 105^\circ$)



Obr.14 - Kapka oceli na ostřivu Kerphalite ($\alpha = 115^\circ$)

4 ZÁVĚR

Zkoušky potvrdily, že ani u chemicky spojených samotvrdnoucích směsí není možné zanedbávat zhuštění směsi zvláště u masivních odlitků, chceme-li dosáhnout dobrého povrchu odlitku a zabránit vzniku penetrace. Dokonce u hrubozrnného ostřiva s nejnižší tepelnou stálostí a tepelnou akumulací bylo pouhým zhuštěním formy (zmenšením velikosti pórů) dosaženo snížení stupně penetrace až o 20%. Ani ochrana povrchu žáruvzdorným nátěrem nedostatečně zhuštěného jádra nezamezila vzniku penetrace (snížení <1%).

Použití žáruvzdorných nátěrů v případě upěchovaných jader mělo na snížení sklonu k penetraci velmi příznivý vliv. Nátěr zabraňuje mechanické penetraci kovu, chrání povrchovou vrstvu před chemickými reakcemi forma – kov a před tepelnými účinky kovu.

Přípečeniny, jejich vznik a velikost, jsou zásadním způsobem ovlivněny i parametry použitého ostřiva jako je jeho druh, granulometrická skladba, tvar zrn a tepelná akumulace formy. U jemnozrnnějších ostřiv a ostřiv složených z více frakcí lze dosáhnout vyššího stupně zhuštění formy a rozměrově menších pórů. Příznivě se dále projevuje vliv vyššího ochlazovacího účinku formy (jádra). Použití ostřiv zajišťujících vyšší koeficient tepelné akumulace umožňuje lepší odvod tepla od odlitku a zkracuje dobu tuhnutí. Zkrácením doby styku tekutého kovu s formou snížíme riziko vzniku zapečení.

5 LITERATURA

- [1] STEFANESCU, D.M., OWENS, D.M., LANE, A.M, PIWONKA T.S.: Penetration of Liquid Steel in Sand Molds, Part I, AFS Transaction, 2001, Vol. 01-058, p. 1347 – 1363.
- [2] ELBEL, T a kol.: Vady odlitků ze slitin železa, 1. vydání, Brno, Matecs, 1992, 339 s.
- [3] BEAUVAIS, P.: Les difficultés d approvisionnement des sables de chromite, Fonderie Fondateur d Aujourdhui, 2005, No 249, p.31 – 39
- [4] TOMASEVIC, D.: Degradation des matériaux de moulage en sable, Fonderie Fondateur d Aujourdhui, 2000, No 196, p.30 – 37